

Soldagem Automatizada de Revestimentos Empregando o Novo Processo MIG/MAG com Inversão de Polaridade Sincronizada com a Trajetória de Tecimento dos Cordões de Solda**(Automated Welding of Overlay Using the New GMAW Process with Inversion of Polarity Synchronized with the Weaving Path of the Weld Beads)***Eduardo Bidese Puhl¹, Jair Carlos Dutra¹, Nelso Gauze Bonacorso²**¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, Brasil, eduardopuhl@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br**²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica, Florianópolis, SC, Brasil, nelso@iftsc.edu.br***Resumo**

Na soldagem de revestimento, algumas características dos cordões de solda são desejadas, como a mínima penetração e um perfil adequado à união com cordões adjacentes, além da condição almejada de alta produtividade. O processo de soldagem MIG/MAG é bastante utilizado em revestimentos por ser considerado de alta produtividade e facilmente automatizado. Entretanto, para se alcançar melhores resultados na soldagem de revestimento é proposto um novo processo, derivado do processo MIG/MAG convencional, batizado por MIG/MAG-PS (polaridade sincronizada). No processo MIG/MAG-PS ocorre a soldagem com a polaridade positiva (CC+) e também com a polaridade negativa (CC-) sincronizadas com a trajetória de tecimento do cordão de solda, somando assim os aspectos positivos de ambas polaridades. Na região central do tecimento, aplica-se polaridade negativa para se obter alta produtividade com mínima penetração e diluição. A polaridade positiva é empregada somente nas extremidades do tecimento com o objetivo de se obter geometria adequada à união com cordões de solda adjacentes evitando assim discontinuidades por falta de fusão. O novo processo, MIG/MAG-PS, se revelou bastante eficaz e robusto, tornando-se uma boa opção de quebra de paradigma para a soldagem de revestimentos.

Palavras-chave: *Automação da Soldagem; MIG/MAG; MIG/MAG-PS; Soldagem de Revestimento.*

Abstract: *In the overlay welding, some characteristics of the weld beads are wanted, as the low penetration and an appropriate profile to the union with adjacent beads, besides the longed for condition of high productivity. The welding process GMAW is quite used in overlays by being considered of high productivity and easily automated. However, to reach better her results in the overlay welding a new process is proposed, derived of the process conventional GMAW, baptized for PS-GMAW (synchronized polarity). In the PS-GMAW process it happens the welding with the positive polarity and also with the negative polarity synchronized with the weaving path of the weld bead, adding like this the positive aspects of these two polarities. In the central area of the weaving, negative polarity is applied to obtain high productivity with low penetration and dilution. The positive polarity is only used in the extremities of the weaving with the objective of obtaining appropriate geometry to the union with adjacent weld beads avoiding like this discontinuities for lack of fusion. The new process, PS-GMAW, it was revealed quite effective and robust, becoming a good option of paradigm break for the overlay welding.*

Key-words: *Automated Welding; GMAW; PS-GMAW; Overlay Welding.*

1. Introdução

Para a execução de soldagem de revestimento, algumas características especiais dos processos e procedimentos devem ser buscadas para atender a determinados requisitos tecnológicos. A penetração e a consequente diluição, por exemplo, devem ter níveis mínimos para atender requisitos inerentes ao que é pretendido de um revestimento.

Um caso muito característico é a recuperação por soldagem de linhas dutoviárias de petróleo e gás que sofreram corrosão e que necessitam serem soldadas em operação. A temperatura ao longo da espessura do material não deve atingir determinado nível para garantir segurança no trabalho e isto só pode ser conseguido com mínimo de penetração e diluição. Trabalhos deste tipo vêm sendo realizados ainda com eletrodos revestidos, pois associando o tipo de eletrodo com a habilidade do soldador, é possível executar a operação com poucos riscos.

Por outro lado, o processo MIG/MAG é considerado de alta produtividade e facilmente automatizado, e justamente por essa razão, é muito mais aplicado na indústria do que o processo manual a eletrodo revestido. Entretanto, na soldagem de revestimento a mínima diluição é primordial, uma vez que o objetivo principal não é fundir o material de base e sim depositar material à superfície das peças.

Esta característica é encontrada na soldagem MIG/MAG com polaridade negativa (CC-) onde a pequena profundidade de penetração da zona fundida aliada à alta taxa de fusão do eletrodo, são favoráveis para o revestimento. Em contra partida, a polaridade negativa propicia menor estabilidade do arco elétrico atribuída a uma força eletromagnética repulsiva de natureza instável [1].

A taxa de fusão diferenciada para eletrodo na polaridade negativa pode ser justificada com o comportamento do arco elétrico. Com esta polaridade o arco elétrico não começa na extremidade do eletrodo e sim em uma parte mais alta, Figura 1 (b), buscando pontos onde a emissão de elétrons seja favorecida pela presença de óxidos. Ao envolver a extensão sólida do eletrodo, o calor do arco seria usado de forma mais eficiente, ou seja, cerca de 30% para o metal base e 70% para fundir o eletrodo, o que torna a taxa de fusão mais alta. Porém, no balanço energético do arco com polaridade positiva (CC+), Figura 1 (a), a situação é invertida, cerca de 30% do calor do arco pertencem ao eletrodo e 70% ao metal de base, o que explicaria a maior taxa de fusão na polaridade negativa do que com a polaridade positiva [2,3,4].

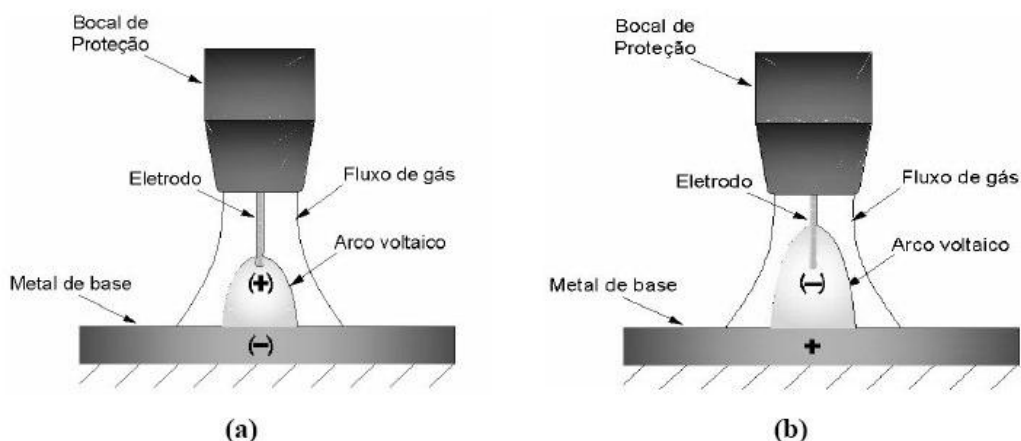


Figura 1. Comportamento do arco elétrico MIG/MAG nas polaridades: em (a) CC+ e em (b) CC- [5].

A Tabela 1 mostra, por meio dos testes 01 e 02, as diferenças na geometria do cordão de solda respectivamente nas polaridades negativa e positiva do processo MIG/MAG. Ambos cordões de solda foram realizados com o mesmo valor de corrente média, 250 A, com o mesmo gás de proteção, Ar+2%O₂, com a mesma velocidade de soldagem, 30 cm/min e com velocidades de arame distintas: 8,0 m/min na polaridade positiva e 12,4 m/min na polaridade negativa.

Tabela 1 – Geometria do cordão, processo MIG/MAG nas polaridades CC- no teste 01 e CC+ no teste 02 [5].

Teste	Aspecto do Cordão de Solda	Seção Transversal
01		
02		

Apesar do cordão de solda, produzido pelo processo MIG/MAG com polaridade negativa, apresentar uma significativa redução de penetração em relação à polaridade positiva o seu perfil, quase circular, é impróprio para receber um outro cordão de solda ao lado. Mesmo com orientação da tocha de soldagem favorável, haverá sempre discontinuidades por falta de fusão. Neste caso, o perfil produzido pela polaridade positiva, por ter um maior raio de curvatura, seria o mais adequado.

2. O Processo de Soldagem MIG/MAG-PS

O presente artigo apresenta uma inovação tecnológica baseada nas características fundamentais do processo MIG/MAG convencional, mas que para a sua execução é necessário ser automatizado por intermédio de equipamentos e método aqui apresentados. O principal elemento deste desenvolvimento é a utilização da polaridade negativa do referido processo, pois a mesma confere uma extrema redução da penetração e diluição. Confere também uma taxa de fusão do arame muito mais elevada do que a polaridade convencional positiva e com isto também é obtida maior produtividade de depósito. Contudo, a estabilidade do arco é precária, bem como a forma geométrica de cada cordão de solda é inadequada para receber um outro cordão de solda ao lado. Há sempre falhas de fusão. Estes inconvenientes foram suplantados pela sincronização de polaridades com o movimento de tecimento da tocha de soldagem conforme mostra a Figura 2.

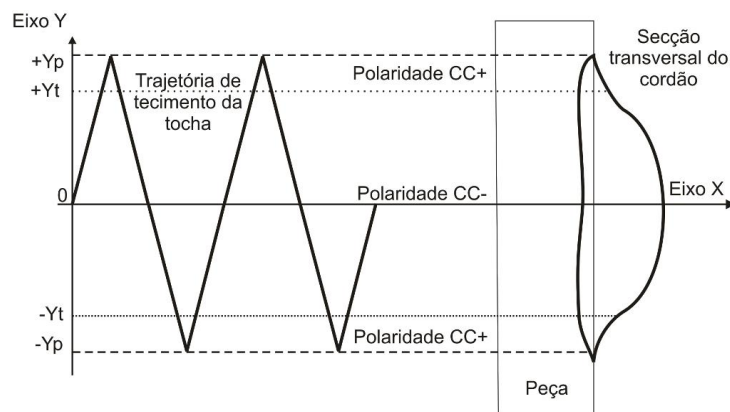


Figura 2. Estratégia de funcionamento do processo MIG/MAG-PS.

No centro do cordão de solda, intervalo entre as amplitudes de tecimento $-Y_t$ e $+Y_t$, funciona a polaridade negativa e quando a tocha se aproxima das laterais, intervalos entre as amplitudes de tecimento $(-Y_t - Y_p)$ e $(+Y_t + Y_p)$, a polaridade é comutada para a positiva a fim de que se tenha um perfil adequado à união com o cordão seguinte. A esta nova modalidade de processo, onde o operador define os valores de amplitude Y_t e Y_p , foi atribuído o nome de MIG/MAG-PS, numa referência à polaridade do processo de soldagem MIG/MAG ser sincronizada com o movimento de tecimento da tocha. A Figura 3 mostra, de forma esquemática, os equipamentos envolvidos com seus respectivos parâmetros e/ou sinais de entrada e de saída para a realização deste novo processo de soldagem.

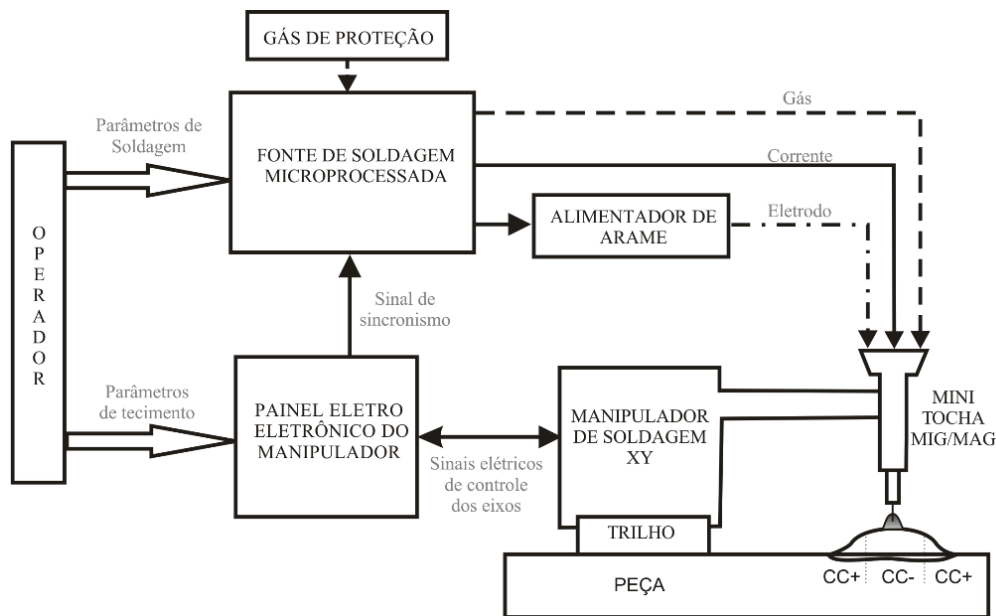


Figura 3. Diagrama de blocos simplificado de funcionamento do processo MIG/MAG-PS.

O grande desafio tecnológico para a execução do processo MIG/MAG-PS é sincronizar a polaridade da fonte de soldagem com a trajetória de movimento da tocha. Para realizar tal tarefa, tanto o manipulador quanto a fonte de soldagem, devem ser de tecnologia microprocessada e permitir implementação de lógica de controle programável envolvendo entradas e saídas de sinais elétricos específicos.

A Figura 4 mostra a bancada de soldagem utilizada para realizar os experimentos de revestimento empregando o processo MIG/MAG-PS. Os principais equipamentos desta bancada são: o manipulador cartesiano de dois graus de liberdade com seu respectivo controlador microprocessado da cinemática da tocha, uma fonte de soldagem microprocessada IMC Inversal 450, alimentador automático de arame e uma mini tocha refrigerada MIG/MAG reta de 300 A projetada para soldagem automática.



Figura 4. Bancada de experimento do processo MIG/MAG-PS para soldagem de revestimento.

Os corpos de prova empregados, chapas de aço 1020 com dimensões de 300 x 150 x 25,4 mm, foram soldados na posição plana com uma DBCP nominal de 20 mm. O material de adição usado no recobrimento das superfícies foi o arame de aço ER70S6 de 1,2 mm diâmetro.

3. Resultados e Discussão

Antes de executar os experimentos de revestimentos com o processo de soldagem MIG/MAG-PS, o qual requer equipamentos de tecnologia mais avançada, buscou-se ainda tentar por meio do processo de soldagem MIG/MAG com polaridade negativa efetivar de forma mais econômica e produtiva, revestimentos isentos de

falhas. Em todas as três distintas técnicas aplicadas de revestimento houve falhas de fusão entre cordões de solda como pode ser constatado nas respectivas secções transversais da Figura 5. Nestes revestimentos a fonte de soldagem operou em modo tensão impondo ao arco elétrico -32 Vcc. A corrente elétrica média resultante com DBCP de 20 mm foi de -250 A. As velocidades de soldagem e de arame foram respectivamente 22 cm/min e 11,7 m/min. A mistura 98% Ar mais 2 % de O₂, com vazão de 15,0 l/min, foi o gás de proteção utilizado.



Figura 5. Tentativas de revestimentos sem falhas usando o processo MIG/MAG com polaridade negativa.

Os cordões de solda dos três revestimentos foram depositados de forma automática com uma sobreposição de 50 % onde o eletrodo era sempre posicionado junto à lateral do cordão anterior. O revestimento da Figura 5.A foi realizado sem tecimento e com ângulos de ataque e de inclinação nulos, ou seja, tocha perpendicular a superfície do corpo de prova. O revestimento da Figura 5.B foi também realizado sem tecimento. A tocha foi inclinada em 45°, giro ao redor do eixo longitudinal dos cordões de solda, com o objetivo de eliminar, sem sucesso, a descontinuidade por falhas de fusão entre cordões de solda. Outra tentativa de eliminar este defeito, também sem obter sucesso, foi o de realizar o revestimento por meio de um tecimento triangular da tocha de soldagem, amplitude de 12 mm e frequência de 1,5 Hz, Figura 5.C.

Na seqüência, foi aplicado o processo MIG/MAG-PS para obter cordões de solda com geometria adequada visando assim evitar este tipo de defeito por falta de fusão. Neste experimento a fonte de soldagem, em ambas polaridades, operou em modo corrente impondo ao arco elétrico uma corrente de 250 A sincronizada com o movimento de tecimento da tocha de soldagem na frequência de 1 Hz, Figura 6. A

Dos 12 mm de amplitude de tecimento a tocha percorreu 9 mm com polaridade CC- e 3 mm com polaridade CC+, ou seja, ¼ do percurso do tecimento com polaridade positiva. A velocidade de soldagem foi de 22 cm/min enquanto que as referências das velocidades do arame foram de 11,7 m/min para a polaridade negativa e de 9,0 m/min para a polaridade positiva. A mistura 98% Ar mais 2 % de O₂, com vazão de 15,0 l/min, foi o gás de proteção utilizado.

A Figura 6 mostra o respectivo cordão de solda obtido: à esquerda o aspecto longitudinal e à direita a secção transversal. O cordão de solda foi executado com a tocha orientada perpendicular a superfície do corpo de prova. Apesar da boa geometria obtida (altura de 3,5 mm, largura de 14,9 mm e diluição de 25 %) dois problemas surgiram. O primeiro foi o excesso de penetração de 1,4 mm obtida em ambas às extremidades laterais do cordão de solda, e o segundo foi a inércia do alimentador de arame que, nesta frequência de tecimento, não apresenta dinâmica suficiente para acompanhar a mudança no valor de velocidade de referência do arame, ou seja, o atraso de resposta é bastante significativo. Isto causa instabilidades no arco elétrico e até mesmo o extinção do mesmo, o que resulta nas descontinuidades presentes no cordão da Figura 6

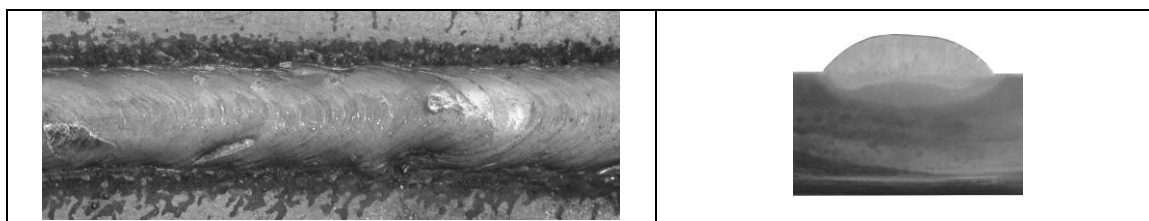


Figura 6 – Geometria do cordão de solda obtida no processo MIG/MAG-PS com ¼ de polaridade CC+

No ensaio da Figura 7 algumas técnicas foram implementadas com objetivo de adequar a geometria do cordão para uma soldagem de revestimento. O aumento da velocidade de soldagem para 43,6 cm/min e o conseqüente acréscimo de frequência para 2,5 Hz com 12 mm de amplitude de tecimento, fizeram com que o cordão apresentasse tais características desejáveis. A faixa de polaridade positiva foi alterada para 1/3 do percurso de tecimento, ou seja, 2 mm em cada extremidade do cordão de solda. Obteve-se uma diluição de 13 % com uma penetração máxima de apenas 0,5 mm. O depósito foi feito pela técnica “empurrando” com um ângulo de 10°, isto também colaborou para a diminuição da altura do cordão para 3 mm e aumento da largura para 15,4 mm. Os parâmetros de corrente também foram alterados, na polaridade positiva a corrente empregada foi de 270

A procurando evitar as falhas de fusão entre os cordões. A velocidade de arame foi ajustada para o valor constante de 11,5 m/min, deste modo deixou de ser intermitente para ser contínua, reduzindo desta forma, o desgaste dos elementos responsáveis pela introdução do arame e eliminando as descontinuidades do cordão.

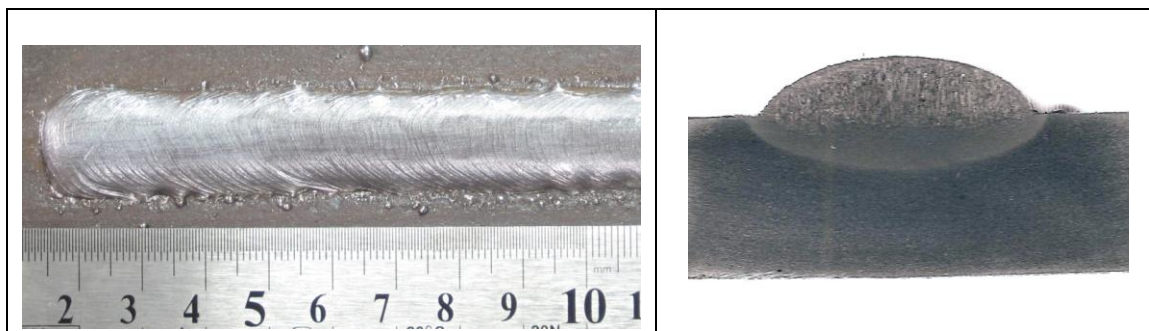


Figura 7 – Geometria do cordão de solda obtida no processo MIG/MAG-PS com 1/3 de polaridade CC+

Para garantir a sobreposição dos cordões de solda somente nas regiões de polaridade positiva evitando assim defeitos de soldagem utilizou-se o critério da mínima superposição dos cordões de solda, ou seja, a distância entre os centros de dois cordões de solda adjacentes é igual à amplitude de tecimento. Na Figura 8 é apresentado um revestimento com boa aparência superficial com altura média de 3,1 mm e uma ondulação máxima menor que 0,25 mm. Sua respectiva seção transversal é isenta de defeitos de soldagem.

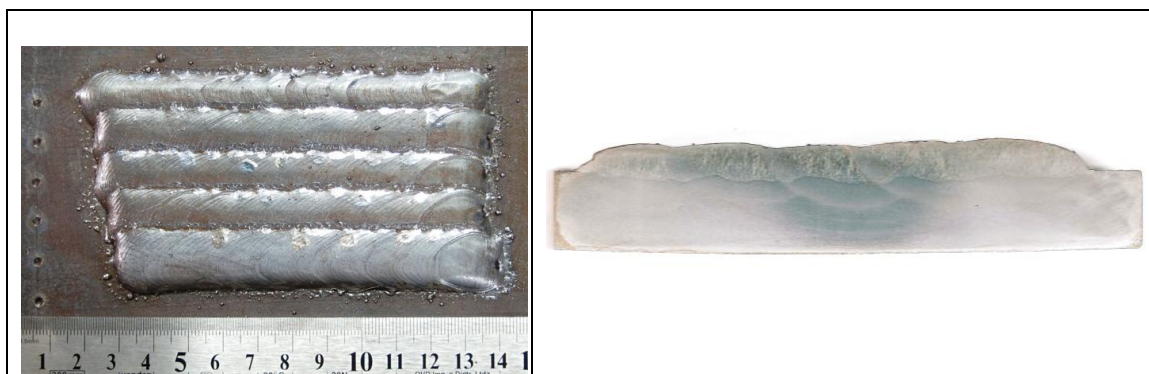


Figura 8 – Geometria de uma camada de solda obtida no processo MIG/MAG-PS com 1/3 de polaridade CC+

4. Conclusões

Os cordões de solda, produzidos pelo processo de soldagem MIG/MAG-PS, possuem características geométricas apropriadas para a tarefa de revestimento de superfícies na posição plana de soldagem, tais como: penetração rasa, superfície praticamente lisa e boa relação dimensional: 15,4 mm de largura por 3,0 mm de altura.

O critério da mínima superposição dos cordões de solda adotada proporcionou camadas na posição plana de soldagem com altura média de 3,1 mm e uma ondulação máxima menor que 0,25mm. Essas camadas de solda são também aceitáveis do ponto de vista das descontinuidades, possuem excelente aspecto visual com presença de respingos.

Os resultados produzidos demonstram que o processo de soldagem MIG/MAG-PS apresenta características adequadas para o revestimento, especialmente para o reparo de dutos em operação pela baixa penetração e aquecimento do material de base. O sincronismo torna o processo mais complexo, sendo necessário um controle adicional, entretanto o alto valor da taxa de deposição e a boa qualidade geométrica justifica seu uso.

Para aplicação em campo deste procedimento é necessário o desenvolvimento de parâmetros utilizando materiais nobres, os quais são aplicados em tarefas de revestimentos.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Tractebel Energia por intermédio da ANAEEL e ao POSMEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico Universidade Federal de Santa Catarina no desenvolvimento deste

trabalho. Bem como à equipe do LABSOLDA que trabalhou para tornar possível tal tarefa tão multidisciplinar.

6. Referências Bibliográficas

- [1] LANCASTER, J.F., **The Physics of Welding**. 2. ed. Pergamom Press, 1986. 335 p.[2] TONG, H.; UEYAMA, T.; HARADA, S.; USHIO, M. **Quality and Productivity in Aluminium Alloy Thin Sheet Welding Using Alternating Current Pulsed Metal Inert Gas Welding System**. Science and Technology of Welding and Joining, v. 6, n. 4, 2001.
- [3] UEYAMA, T.; TONG, H.; HARADA, S.; PASSMORE, R.; USHIO, M. **AC Pulsed GMAW Improves Sheet Metal Joining**. Welding Journal, v. 84, n. 2, fev. 2005.
- [4] Howard B. Cary, **Modern Welding Technology**, Third Edition, 1994 Regents/Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [5] CIRINO, L. M; **Estudo Dos Efeitos Da Polaridade Na Soldagem Com Corrente Contínua E Alternada Pelos Processos Tig E Mig/Mag**, Dissertação de mestrado, UFSC, fevereiro de 2009.